

ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

УДК 614.78:696.1:658.567.1(470.23)

*К. Б. Фридман², О. В. Мироненко¹, А. С. Белкин¹, С. Н. Носков¹, Х. К. Магомедов¹***ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОГРАММЫ
ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ МЕТОДА ГЕОТУБИРОВАНИЯ
ПРИ СКЛАДИРОВАНИИ ОСАДКОВ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД**¹ Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова,
Российская Федерация, 191015, Санкт-Петербург, Кирочная ул., 41² Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья,
Российская Федерация, 191036, г. Санкт-Петербург, 2-я Советская ул., 4

Осадки сточных вод на городских очистных сооружениях крупных городов содержат большинство элементов таблицы Менделеева, и около 60–70 % их объема составляют органические вещества. Скопление осадков на полигонах приводит к отчуждению огромных городских площадей. Использование технологии геотубирования позволяет нейтрализовать около 90 % подвижных форм, представляющих основную экологическую опасность, таких как кадмий, свинец, никель, цинк, медь. В дальнейшем образующийся продукт после применения метода геотубирования без риска для здоровья населения может быть использован в дорожном строительстве, а также в улучшении городских и сельских территорий. Библиогр. 40 назв. Табл. 2.

Ключевые слова: осадки очистных сооружений, экотоксиканты, геотубирование, обезвреживание, тяжелые металлы.

**EXPERIMENTAL BASIS FOR HYGIENIC ASSESSMENT METHODS USING GEOTUBE
DEWATERING DURING STORAGE OF MUNICIPAL WASTEWATER PRECIPITANTS***K. B. Fridman², O. V. Mironenko¹, A. S. Belkin¹, S. N. Noskov¹, Kh. K. Magomedov¹*¹ I. I. Menshikov North-Western State Medical University,
41, Kirochnaya ul., St. Petersburg, 191015, Russian Federation² North-West Public Health Research Center,
4, 2nd Sovetskaya ul., St. Petersburg, 191036, Russian Federation

The sediment of sewage water in treatment facilities contains most of the elements of the periodic table and consists of 60–70 % of organic compounds. The growth storage facilities for these sediments leads to estrangement of large city areas. For example in Saint Petersburg, Russia, approximately 150 hectares are occupied with waste sediment storage. Geotube technology helps to reduce harmful exposure of heavy metals and toxic elements such as cadmium, lead, zinc, nickel, copper. The product of Geotube technology also may be used in highway engineering and urban planning. Refs 40. Tables 2.

Keywords: precipitation, treatment facilities, environmental hazards, GeoTube, dehydration, heavy metals.

Одной из наиболее значимых систем жизнеобеспечения города является водоотведение и очистка хозяйственно-бытовых, промышленных и поверхностных сточных вод, объем которых постоянно растет, особенно в городах-мегаполисах [1]. Осадки сточных вод (ОСВ), образующиеся в результате переработки городских сточных вод, являются одним из выраженных негативных факторов антропогенного воздействия на окружающую среду и среду обитания человека [2].

С развитием промышленности и ростом городов объем осадков сточных вод постоянно увеличивается. В индустриально развитых странах в среднем один житель в год производит 19 кг сухого вещества ОСВ, или 52 г в сутки. Во Франции, например, на каждого жителя приходится ежегодно 100 кг ОСВ. На сегодняшний день годовой объем образующихся в Европе и Северной Америке осадков сточных вод составляет 40 млн т по сухому веществу. Объем осадков имеет постоянную тенденцию к росту с интенсивностью до 12 % в год [3]. В Российской Федерации при численности населения 141 млн человек, в том числе 101 млн городского населения, расчетный объем выхода сухого ОСВ оценивается величиной $2,5\text{--}10^6$ т в год [4]. В связи с этим во всем мире проблемы своевременного удаления ОСВ с территории очистных сооружений, их обработка и утилизация относятся к числу сложнейших экологических проблем [5].

В процессе механической, биологической и физико-химической очистки сточных вод образуются различные виды осадков: грубые, задерживаемые решетками; тяжелые, улавливаемые песколовками; плавающие, задерживаемые жироловками или всплывающие в отстойниках; первичные (сырые), оседающие в первичных отстойниках; вторичные (активные ил, биопленка и шламы), задерживаемые после аэротенков и биофильтров. Большие объемы, бактериальная зараженность, наличие органических веществ, способных подвергаться гниению с выделением неприятных запахов, неоднородность химического состава и водоотдающих свойств осложняют обработку осадков, создают дополнительные эколого-гигиенические проблемы [6–8].

Значительное количество образующихся ОСВ размещается на иловых площадках, вывозится в отвалы, непригодные шламонакопители и др. Складируемые на открытых площадках осадки городских сточных вод нуждаются в отчуждении больших земельных площадей в пригородных зонах [9].

Содержащиеся в осадках токсичные вещества, а нередко и патогенные микроорганизмы, проникая в подземные воды, воздух и почву, вызывают значительное загрязнение окружающей среды и ухудшение санитарно-гигиенических условий жизни людей [10]. Имеют место смывы осадков (особенно в паводковый период) в поверхностные источники водоснабжения, что усложняет проблему подготовки питьевой воды [11].

Несмотря на то что процессы очистки сточных вод, принятые во всем мире, аналогичны по основным технологическим показателям, способы утилизации образующихся осадков индивидуальны для каждой страны и каждого крупного города, что определяет разные подходы в оценке их гигиенической безопасности [12].

Самое широкое практическое распространение в мировой практике получили экономически наиболее оправданные методы, к которым можно отнести складирование и захоронение ОСВ, сжигание, сброс в моря и океаны, а также использование в качестве удобрения или для рекультивации нарушенных земель [13, 14].

Складирование значительной части получаемых осадков сточных вод в карьерах, оврагах, низинах, шламонакопителях и полигонах на протяжении десятков лет осуществляли такие страны, как Греция, страны ЕС (Бельгия, Италия, Дания, Финляндия, Франция и др.). Термические методы переработки осадков (сжигание) от общего количества применяются в странах ЕЭС — 20–40 %, Японии — 60 %, США — 16 % [15–22].

В некоторых приморских населенных пунктах осадки сточных вод, не нашедшие применения, сбрасывают в море. В Ирландии таким образом ликвидируют около 40 % получаемого осадка, в Великобритании — около 20 % и примерно 10 % — в Нидерландах. Также указанный способ широко практиковался в США. Однако проведенные исследования донных отложений и глубоких водных слоев в местах сброса осадков показали повышенное содержание некоторых тяжелых металлов. Кроме этого, были обнаружены изменения фауны и угнетение роста планктона, что наложило значительные ограничения на данный метод утилизации [15, 16, 23–26].

Как показывает зарубежный опыт, одним из основных методов утилизации осадков служит сельскохозяйственное использование. Так, в среднем в качестве удобрения используется 32,4 % осадков. При этом в Люксембурге в сельском хозяйстве применяют 90 % годового их выхода, в Швейцарии — 70 %, Германии — 38 %, Франции — 23 %, Бельгии — 10 %. Относительно низкая доля использования осадков сточных вод в земледелии некоторых стран объясняется прежде всего недостаточной изученностью воздействия содержащихся в нем токсикантов на здоровье человека и животных, взаимовлияния осадка и природной среды, а также недостаточной разработкой методов мониторингования [23, 25, 27–30].

Использование осадков сточных вод в качестве удобрений создает ряд проблем, связанных с их воздействием на окружающую среду, попаданием вредных веществ в продукты питания и неблагоприятным влиянием на здоровье человека [31–33].

При наличии гарантированного контроля и развитии мер по очистке и обеззараживанию осадков сточных вод за рубежом наиболее перспективными считают следующие аспекты их использования: освоение малопродуктивных земель; улучшение состояния склоновых земель, вовлекаемых в сельскохозяйственный оборот; укрепление склонов, оврагов, балок; рекультивация земель на выработках и карьерах; озеленение свалок; лесное хозяйство; выращивание полевых культур [19, 23, 34, 35].

В странах, где возрастающая добыча ископаемого топлива и минерального сырья серьезно затрагивает интересы сельского хозяйства, временно отнимая у него значительные площади земельного фонда, осадок сточных вод используют для рекультивации земель.

В Мюнхене в течение десятков лет весь получаемый осадок переносят в высоких дозах на бросовые земли, продукция которых имеет определенные ограничения для использования, например картофель и кукурузу с таких угодий используют на спирто-водочных заводах, зерновые — на пивоварнях, на корм скоту и на семена [36].

Широко используют осадок сточных вод для рекультивации земель в США. Утилизация накапливающегося осадка стала сопряжена с большими трудностями после введения более жесткого природоохранного закона, поставившего под

строгий контроль хранения осадка в лагунах или захоронение на свалках. Широкомасштабная программа использования осадка сточных вод очистных сооружений Чикаго предназначена для рекультивации земель, нарушенных угольными разработками. На участке, нарушенном горными работами, были размещены земельные поля орошения. Жидкий стабилизированный осадок, перевозимый по реке на баржах, вносится в почву в дозах, превышающих агрономически принятые. Возделываемые на этих полях кукурузу, пшеницу, многолетние травы используют только на корм скоту. Осуществление этой программы позволило, с одной стороны, решить проблему устранения осадка сточных вод, а с другой — превратить бесплодные земли в продуктивные угодья.

Следует отметить, что за рубежом использование осадков в сельском хозяйстве становится все более актуальным. В США за последние 25 лет внесение осадков сточных вод в почву увеличилось с 0,93 до 4 млн т (в расчете на сухое вещество). Налажено успешное использование для этих целей осадков из городов Чикаго, Мадисон, Колумбус и др. В Германии было утилизировано свыше 2,7 млн т сухого вещества ОСВ. Наибольшее их количество (44 %) использовалось в сельском хозяйстве; 11,8 % — при рекультивации почв, озеленении территорий свалок и ландшафтном строительстве; 10 % подвергалось компостированию; 11,4 % было отправлено на свалки и 19,5 % сожжено [37].

В России до середины 1980-х гг. обезвоженные осадки, образовавшиеся на городских станциях аэрации, использовали в сельском хозяйстве в качестве органических удобрений, поскольку считалось, что по своим характеристикам они не уступают навозу. В 1985 г. вывоз их на поля был прекращен из-за повышенного содержания токсичных тяжелых металлов, в основном меди, хрома, цинка, никеля, ртути, свинца, кадмия и других вредных соединений [38, 39].

Осадки с очистных сооружений Санкт-Петербурга содержат в значительном количестве тяжелые металлы, и это не позволяет использовать их в сельском хозяйстве в качестве удобрения. Применение традиционного и широко распространенного метода размещения осадков на иловых площадках ограничено из-за высокого уровня стояния грунтовых вод, сложных климатических условий и отсутствия необходимых площадей для их размещения [40].

Сложившаяся ситуация, а также неудачные попытки использования отечественных технологий заставили обратиться к опыту наиболее развитых стран мира. Самым эффективным методом было признано сжигание (инсинерация) осадков сточных вод в псевдооживленном слое Pyrofluid (OTV). В 1997 г. на Центральной станции аэрации Санкт-Петербурга был сооружен первый в России и СНГ цех по сжиганию осадка сточных вод. В конце 2007 г. технология Pyrofluid была внедрена на Северной станции аэрации и на Юго-Западных очистных сооружениях.

За время эксплуатации этих уникальных предприятий накоплен существенный опыт, позволяющий сделать вывод о том, что данное производство в целом справляется с задачами глубокой утилизации осадков, образующихся при очистке сточных вод. Таким образом, сегодня Санкт-Петербург является единственным в России мегаполисом, в котором обезвоженный осадок канализационных очистных сооружений не складывается, а сжигается и вывозится в виде золы на полигоны. Внедрение технологии сжигания осадков является позитивным шагом в снижении негативного воздействия на окружающую среду.

С успехом решив проблему осадков, ежедневно в больших количествах образующихся в ходе очистки сточных вод, город избавился от необходимости выделять ежегодно под складирование опасных отходов 8–10 га дорогостоящей земли.

Несмотря на это, вопрос обращения с осадками сточных вод нельзя считать полностью решенным. Речь идет о складированных на полигонах осадках, накопленных десятилетиями. Не найдя оптимального, не опасного для окружающей среды и человека метода применения, осадки, образовывавшиеся на станциях очистки сточных вод до внедрения технологии сжигания, вывозили и складировали на специально оборудованных полигонах, за чертой населенных мест. Сейчас в Санкт-Петербурге эксплуатируются два крупных полигона общей площадью 118,7 га — «Северный» и «Волхонка-2». За годы эксплуатации на полигонах складировано 4,9 млн м³ осадка, а емкости сооружений заполнены до критических отметок.

В 2007 г. предприятие «Водоканал Санкт-Петербурга» в рамках программы обработки и обезвреживания накопленных на полигонах складирования ОСВ приступил к внедрению на полигоне «Северный» технологии геотубирования. При этом сырой осадок вместе с реагентами, обеспечивающими связывание подвижных форм экотоксикантов, дезинфекцию, стабилизацию осадков, закачивается в геотубу-емкость из пластика с микропорами, где он хранится не менее одного года. Обезвоживание осадка осуществляется за счет физических процессов — путем «выдавливания» влаги из геотубы.

В течение длительного времени в геотубе происходят процессы биологического компостирования и химической нейтрализации с большей эффективностью, чем в обычных условиях. Кроме того, обработка и хранение геотубы позволяет значительно сократить площади складирования и объемы осадков за счет естественного обезвоживания («выдавливания» воды).

На основе анализа литературы с целью разработки программы исследований, направленной на гигиеническую оценку технологии геотубирования, были определены две актуальные группы показателей с точки зрения их качественного (степени токсичности, патогенности микроорганизмов) и количественного приоритетов (санитарно-химические — табл. 1; бактериологические — табл. 2), а также выполнено экспериментальное обоснование возможности дальнейшего использования данных групп показателей с целью мониторингирования эффективности технологии.

Как следует из полученных данных, при использовании технологии геотубирования возникающий стойкий эффект нейтрализации подвижных форм в среднем составляет 90 %, по содержанию кадмия ионные формы сокращаются в 40 раз, кобальта — в 3 раза, меди — в 4 раза, свинца — в 7 раз, никеля — в 25 раз, цинка — в 50 раз.

В меньшей степени эффект нейтрализации выражен в отношении валовых форм, и в среднем он варьирует около 50 %. При этом содержание кадмия почти не меняется, а содержание кобальта уменьшается в 2,25 раза. Суммарный показатель токсичности снижается в 1,6 раза.

Таким образом, можно сделать следующие выводы. Технология геотубирования обеспечивает значительный эффект детоксикации осадков, стойкий по времени в отношении подвижных форм экотоксикантов.

Таблица 1. Валовые и подвижные формы содержания экотоксикантов в сыром осадке и после применения технологии геотубирования

Экотоксикант	Валовое содержание вещества, мг/кг		Подвижные формы вещества, мг/кг	
	Сырой осадок	Продукт геотубирования	Сырой осадок	Продукт геотубирования
Кадмий	39,0	38,0	40,0	<0,1
Кобальт	2,7	1,2	3,3	<1,0
Марганец	181,0	123,0	0	87,0
Медь	1206,0	90,0	4,1	<1,0
Мышьяк	5,6	1,8	0	0
Никель	37,0	18,0	24,7	<1,0
Ртуть	1,6	0,56	0.0075	0
Свинец	98,0	23,0	7,3	<1,0
Хром общий	23,0	8,7	4,3	1,0
Цинк	516,0	464,0	245,0	5,0
Суммарный показатель	366,4	254,1	0	0
Нефтепродукты	197,0	29,0	0	0
Бензапирен	0,59	0,084	0	0

Таблица 2. Результаты бактериологических исследований сырого осадка сточных вод и продукта геотубирования

Вид пробы	Сырой осадок	Продукт геотубирования
Индекс БГКП	<10	<10
Индекс энтерококка	<10	<10
Патогенные бактерии	0	0

С целью проведения экспериментальных исследований гигиенической оценки технологии геотубирования на основании анализа литературных данных и предварительных лабораторных исследований обоснована программа исследований, определен круг групп показателей и актуальных компонентов для их последующего мониторинга.

Литература

1. Кармазинов Ф. В., Пробриский М. Д., Васильев Б. В. Опыт водоканала Санкт-Петербурга по обработке и утилизации осадков // Водоснабжение и санитарная техника. 2002. № 12. С. 13–15.
2. Русаков Н. В., Рахманин Ю. А. Отходы, окружающая среда, человек. М., 2005. 411 с.
3. Герасимов Г. Н. BIOLYSIS — способ сокращения объема осадков сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2006. № 5. С. 41–44.
4. Щербо А. П. Управление отходами населенных мест: эколого-гигиенические аспекты. СПб., 2002. 242 с.

5. Аграноник Р.Я. Проблемы обработки и утилизации осадков сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 1995. № 1. С. 2–3.
6. Туровский И. С. Обработка сточных вод. М.: Стройиздат, 1998. 159 с.
7. Аветисян П. К., Адам Ф. Г. Обработка и утилизация осадков сточных вод на крупных станциях аэрации // Водоснабжение и санитарная техника. 1992. № 7. С. 29–30.
8. Ongerth J. Evaluation of treatment for removing giardiacysts // J. AWWA. 1999. № 6. P. 18–19.
9. Медведев А. С., Стрижко В. С. Обезвреживание осадков городских станций аэрации // Экология и промышленность России. 2002. № 5. С. 31–34.
10. Семенова В. В., Чернова Г. И., Воробьева Л. В. Эколого-гигиеническая оценка продуктов утилизации лигнинных отходов // Гигиена и санитария. 2001. № 6. С. 14–16.
11. Фридман К. Б. Гигиена водных объектов, водоснабжение и здоровье населения // Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге за 1980–1999 годы / под ред. А. С. Баева, Н. Д. Сорокина. СПб., 2000. 515 с.
12. Латыпова В. З., Селивановская С. Ю. Осадки сточных вод как потенциальный источник генетической опасности // Вопросы генетической опасности в Республике Татарстан. Казань, 1997. С. 21–22.
13. Мирный А. Н. Критерии выбора технологии обезвреживания и переработки твердых бытовых отходов // Чистый город. 1998. № 1. С. 8–15.
14. Русаков Н. В., Рахманин Ю. А. Отходы, окружающая среда, человек. М.: Медицина, 2004. 231 с.
15. Harrison E. Z., McBride M. B., Bouldin D. R. The case for caution. Recommendations for land applications of sewage sludges and an appraisal of the US EPA's part 503 sludge rules. New York, 1999. 48 p.
16. Harrison E. Z., Oakes S. R. Investigation of Alleged Health Incidents Associated with Land Application of Sewage Sludges // New Solutions: A Journal of Environmental and Occupational Health Policy. 2003. Vol. 12, issue 4. P. 387–408.
17. Research programme on recycling sewage sludge to agricultural land. Rationale and objectivities — ROAME statement for 2002/03 to 2007/08. UK, 2002.
18. Straub T. M., Pepper I. L., Gerba C. P. Hazards from Pathogenic Microorganisms in Land-Disposed Sewage Sludge // Reviews of Environmental Contamination and Toxicology. 1993. N 132. P. 55–91.
19. Targeted National Sewage Sludge Survey: Statistical Analysis Report. EPA-822-R-08-018. U. S. Environmental Protection Agency. Washington, 2009. 58 p.
20. Tidestrom H. Swedish regulation on the use of sewage sludge in agriculture: why is it important to use sludge as a fertilizer in agriculture? // Specialty Conference on Management and Fate of Toxic Organics in Sludge Applied to Land. Copenhagen, 1997.
21. Webber M. D., Nichols J. A. Organic and metal contaminants in Canadian municipal sludges and a sludge compost. Wastewater Technology Centre, 1995.
22. Working Document on Sludge, 3rd draft. ENV. E. 3/LM, European Union. Brussels, 2000.
23. Сдобникова О. В., Мерзлая Г. Е., Полунин С. Ф., Савельев И. Б., Грачева Н. К., Ильин Н. П. Анализ существующего положения, оценка региональных особенностей и прогноз сельскохозяйственного использования осадков московских станций аэрации в хозяйствах Московской области. М., 1988. 238 с.
24. Bowman D. Parasites in sewage sludges. Presentation to Cornell Sludge Working Group. New York, 1997.
25. Harrison E. Z., Eaton M. M. The Role of Municipalities in Regulating the Land Application of Sewage Sludges and Septage // Natural Resources Journal. 2001. Vol. 41. P. 1–47.
26. Eddy N. Septic Tanks in the U. S.: How many are there, where are they, and are they working properly? // Small Flows. 1999. Vol. 13 (2).
27. Почва, отходы производства и потребления: проблемы охраны и контроля: материалы конференции. Пенза, 1996. 222 с.
28. Хозяйственно-питьевая и сточные воды: проблемы очистки и использования: материалы международной научно-практической конференции. Пенза, 1996. 140 с.
29. Criteria and recommendations for land application of sludge in the North-East // Pensilvania state univ. bull. 1985. Vol. 851. P. 94.
30. Crommentuijn G. H., Van de Plassche E. J., Canton J. H. Guidance document on the derivation of ecotoxicological criteria for serious soil contamination in view of the intervention value for soil clean-up. Report No. 955001 003. The Netherlands: National Institute of Public Health & the Environment, 1994.
31. Башара Л. А. Эколого-гигиеническая оценка осадков хозяйственно-бытовых сточных вод г. Усть-Кута // Почва, отходы производства и потребления: проблемы охраны и контроля. Пенза, 1996. С. 6–9.

32. Афанасьев Р. А., Мерзлая Г. Е. Подготовка и использование осадков сточных вод в качестве удобрения // Водоснабжение и санитарная техника. 2003. № 1. С. 25–29.
33. Hani H., Siegenthaler A., Candinas T. Soil effect due to sewage sludge application in agriculture // Fertilizer Research. 1995. Vol. 43, issue 1. P. 149–156.
34. Experimental study on the use urban sewage sludge on Mediterranean forest // Utilisation of sewage sludge on land. Boston, 1984. P. 61–78.
35. Fertilizing forests with sludge // Biocycle. 1985. Vol. 25. P. 8–52.
36. McGrath S. P., Chang A. C., Page A. L., Witter E. Land application of sewage sludge: scientific perspectives of heavy metal loading limits in Europe and the United States // Environ. Rev. 1994. Vol. 2 (1). P. 108–118.
37. Руководство по безопасному использованию сточных вод и экскрементов в сельском хозяйстве и аквакультуре. Женева, 1992. 216 с.
38. Губанов Л. Н., Котов А. В., Бояркин Д. В. Использование осадков городских сточных вод Нижнего Новгорода для повышения плодородия почв // Экологические технологии и инновации. 2005. № 1. С. 66–69.
39. Короткова Н. А. Централизованное компостирование осадков сточных вод // Водоснабжение и канализация: экспресс-информация. 1990. Вып. 14 (32). С. 1–3.
40. Васильев Б. В. Обработка и утилизация осадков сточных вод в Санкт-Петербурге // Водоснабжение и санитарная техника. 2006. № 9. С. 58–62.

Для цитирования: Фридман К. Б., Мироненко О. В., Белкин А. С., Носков С. Н., Магомедов Х. К. Экспериментальное обоснование программы гигиенической оценки метода геотубирования при складировании осадков городских сточных вод // Вестник СПбГУ. Медицина. 2017. Т. 12. Вып. 2. С. 202–211. DOI: 10.21638/11701/spbu11.2017.209

Reference

1. Karmazinov F. V., Probirskii M. D., Vasil'ev B. V. Opyt vodokanala Sankt-Peterburga po obrabotke i utilizatsii osadkov [Experience Vodokanal of St. Petersburg for treatment and disposal of sediments]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaia tekhnika* [Water supply and sanitary engineering], 2002, no. 12, pp. 13–15. (In Russian)
2. Rusakov N. V., Rakhmanin Iu. A. Otkhody, okruzhaiushchaia sreda, chelovek [Waste, the environment, human]. Moscow, 2005. 411 p. (In Russian)
3. Gerasimov G. N. BIOLYSIS — sposob sokrashcheniia ob'ema osadkov stochnykh vod [BIOLYSIS — a way to reduce the amount of sewage sludge]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaia tekhnika* [Water supply and sanitary engineering], 2006, no. 5, pp. 41–44. (In Russian)
4. Shcherbo A. P. Upravlenie otkhodami naseleennykh mest: ekologo-gigienicheskie aspekty [Waste management populated areas: ecological and hygienic aspects]. St. Petersburg, 2002. 242 p. (In Russian)
5. Agranonik R. Ia. Problemy obrabotki i utilizatsii osadkov stochnykh vod [Problems handling and disposal of sewage sludge]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaia tekhnika* [Water supply and sanitary engineering], 1995, no. 1, pp. 2–3. (In Russian)
6. Turovskii I. S. Obrabotka stochnykh vod [Sewage treatment]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1998. 159 p. (In Russian)
7. Avetisian P. K., Adam F. G. Obrabotka i utilizatsiia osadkov stochnykh vod na krupnykh stantsiiakh aeratsii [Treatment and disposal of sewage sludge at major stations aeration]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaia tekhnika* [Water supply and sanitary engineering], 1992, no. 7, pp. 29–30. (In Russian)
8. Ongerth J. Evaluation of treatment for removing giardiacysts. *J. AWWA*, 1999, no. 6, pp. 18–19.
9. Medvedev A. S., Strizhko B. C. Obezvrezhivanie osadkov gorodskikh stantsii aeratsii [Neutralization precipitation urban aeration station]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry Russia], 2002, no. 5, pp. 31–34. (In Russian)
10. Semenova V. V., Chernova G. I., Vorob'eva L. V. Ekologo-gigienicheskaia otsenka produktov utilizatsii ligninnykh otkhodov [Ecological and hygienic assessment of products disposal of waste lignin]. *Gigiena i sanitaria* [Hygiene and sanitary], 2001, no. 6, pp. 14–16. (In Russian)
11. Fridman K. B. Gigiena vodnykh ob'ektov, vodosnabzhenie i zdorov'e naseleniia [Hygiene water facilities, water supply and health of the population]. *Okhrana okruzhaiushchei sredy, prirodopol'zovanie i obespechenie ekologicheskoi bezopasnosti v Sankt-Peterburge za 1980–1999 gody* [Environmental protection, natural resources and environmental safety in St. Petersburg for the years 1980–1999]. Eds A. S. Baev, N. D. Sorokin. St. Petersburg, 2000. 515 p. (In Russian)

12. Latypova V.Z., Selivanovskaia S.Iu. Osadki stochnykh vod kak potentsial'nyi istochnik geneticheskoi opasnosti [Sewage sludge as a potential source of genetic hazard]. *Voprosy geneticheskoi opasnosti v Respublike Tatarstan* [Questions genetic danger in the Republic of Tatarstan]. Kazan, 1997, pp.21–22. (In Russian)
13. Mirnyi A.N. Kriterii vybora tekhnologii obezvrezhivaniia i pererabotki tverdykh bytovykh otkhodov [Criteria for selection of technology disposal and recycling of solid waste]. *Chisty gorod* [Clean city], 1998, no. 1, pp. 8–15. (In Russian)
14. Rusakov N.V., Rakhmanin Iu. A. *Otkhody, okruzhaiushchaia sreda, chelovek* [Waste, the environment, human]. Moscow, Medicine Publ., 2004. 231 p. (In Russian)
15. Harrison E.Z., McBride M.B., Bouldin D.R. *The case for caution. Recommendations for land applications of sewage sludges and an appraisal of the US EPA's part 503 sludge rules*. New York, 1999. 48 p.
16. Harrison E.Z., Oakes S.R. Investigation of Alleged Health Incidents Associated with Land Application of Sewage Sludges. *New Solutions: A Journal of Environmental and Occupational Health Policy*, 2003, vol. 12, issue 4, pp. 387–408.
17. *Research programme on recycling sewage sludge to agricultural land. Rationale and objectivities — ROAME statement for 2002/03 to 2007/08*. UK, 2002.
18. Straub T.M., Pepper I.L., Gerba C.P. Hazards from Pathogenic Microorganisms in Land-Disposed Sewage Sludge. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 1993, no. 132, pp.55–91.
19. *Targeted National Sewage Sludge Survey: Statistical Analysis Report. EPA-822-R-08- 018*. U.S. Environmental Protection Agency. Washington, 2009. 58 p.
20. Tidestrom H. Swedish regulation on the use of sewage sludge in agriculture: why is it important to use sludge as a fertilizer in agriculture? *Specialty Conference on Management and Fate of Toxic Organics in Sludge Applied to Land*. Copenhagen, 1997.
21. Webber M.D., Nichols J.A. *Organic and metal contaminants in Canadian municipal sludges and a sludge compost*. Wastewater Technology Centre, 1995.
22. *Working Document on Sludge, 3rd draft. ENV.E.3/LM, European Union*. Brussels, 2000.
23. Sdobnikova O.V., Merzlaia G.E., Polunin S.F., Save'ev I.B., Gracheva N.K., Il'in N.P. *Analiz sushchestvuiushchego polozheniia, otsenka regional'nykh osobennostei i prognoz sel'skokhoziaistvennogo ispol'zovaniia osadkov moskovskikh stantsii aeratsii v khoziaistvakh Moskovskoi oblasti* [An analysis of the existing situation, estimation of regional features and prognosis of the agricultural use of precipitation moscow aeration stations in the Moscow region farms]. Moscow, 1988. 238 p. (In Russian)
24. Bowman D. *Parasites in sewage sludges*. Presentation to Cornell Sludge Working Group. New York, 1997.
25. Harrison E.Z., Eaton M.M. The Role of Municipalities in Regulating the Land Application of Sewage Sludges and Septage. *Natural Resources Journal*, 2001, vol. 41, pp. 1–47.
26. Eddy N. Septic Tanks in the U.S.: How many are there, where are they, and are they working properly? *Small Flows*, 1999, vol. 13 (2).
27. *Pochva, otkhody proizvodstva i potrebleniia: problemy okhrany i kontroliia*. Materialy konferentsii [Soil, production and consumption waste: problems of protection and control. Conference materials]. Penza, 1996. 222 p. (In Russian)
28. *Khoziaistvenno-pit'evaia i stochnye vody: problemy ochistki i ispol'zovaniia*. Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Drinking and waste water: the problem of cleaning and use of. Materials of the international scientific-practical conference]. Penza, 1996. 140 p. (In Russian)
29. Criteria and recommendations for land application of sludge in the North-East. *Pensilvania state univ. bull.* 1985, vol. 851, p. 94.
30. Crommentuijn G.H., Van de Plassche E.J., Canton J.H. *Guidance document on the derivation of ecotoxicological criteria for serious soil contamination in view of the intervention value for soil clean-up*. Report No. 955001 003. Netherlands: National Institute of Public Health & the Environment, 1994.
31. Bashara L.A. Ekologo-gigienicheskaia otsenka osadkov khoziaistvenno-bytovykh stochnykh vod g. Ust'-Kuta [Ecological and hygienic assessment of precipitation economic-household sewage in Ust'-Kuta]. *Pochva, otkhody proizvodstva i potrebleniia: problemy okhrany i kontroliia* [Soil, waste production and consumption: problems of protection and control]. Penza, 1996, pp. 6–9. (In Russian)
32. Afanas'ev R.A., Merzlaia G.E. Podgotovka i ispol'zovanie osadkov stochnykh vod v kachestve udobreniia [Preparation and use of sewage sludge as a fertilizer]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaia tekhnika* [Water supply and sanitary engineering], 2003, no. 1, pp. 25–29. (In Russian)
33. Hani H., Siegenthaler A., Candinas T. Soil effect due to sewage sludge application in agriculture. *Fertilizer Research*, 1995, vol. 43, issue 1, pp. 149–156.
34. Experimental study on the use urban sewage sludge on Mediterranean forest. *Utilisation of sewage sludge on land*. Boston, 1984, pp.61–78.

35. Fertilizing forests with sludge. *Biocycle*, 1985, vol. 25, pp. 8–52.
36. McGrath S. P., Chang A. C., Page A. L., Witter E. Land application of sewage sludge: scientific perspectives of heavy metal loading limits in Europe and the United States. *Environ. Rev.*, 1994, vol. 2 (1), pp. 108–118.
37. *Rukovodstvo po bezopasnomu ispol'zovaniuu stochnykh vod i ekskrementov v sel'skom khoziaistve i akvakul'ture* [Guidelines for safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture]. Geneva, 1992. 216 p. (In Russian)
38. Gubanov L. N., Kotov A. V., Boiarkin D. V. Ispol'zovanie osadkov gorodskikh stochnykh vod Nizhnego Novgoroda dlia povysheniia plodorodiia pochv [The use of deposits of urban waste water in Nizhny Novgorod to improve soil fertility]. *Ekologicheskie tekhnologii i innovatsii* [Environmental technology and innovation], 2005, no. 1, pp. 66–69. (In Russian)
39. Korotkova N. A. Tsentralizovannoe kompostirovanie osadkov stochnykh vod [Centralized composting sewage sludge]. *Vodosnabzhenie i kanalizatsiia: ekspres-informatsiia* [Water supply and sewerage system: rapid information], 1990, issue 14 (32), pp. 1–3. (In Russian)
40. Vasil'ev B. V. Obrabotka i utilizatsiia osadkov stochnykh vod v Sankt-Peterburge [Treatment and disposal of sewage sludge in St. Petersburg]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaia tekhnika* [Water supply and sanitary engineering], 2006, no. 9, pp. 58–62. (In Russian)

For citation: Fridman K. B., Mironenko O. V., Belkin A. S., Noskov S. N., Magomedov Kh. K. Experimental basis for hygienic assessment methods using geotube dewatering during storage of municipal wastewater precipitants. *Vestnik SPbSU. Medicine*, 2017, vol. 12, issue 2, pp. 202–211.
DOI: 10.21638/11701/spbu11.2017.209

Статья поступила в редакцию 12 декабря 2016 г.

Статья принята в печать 10 марта 2017 г.

Контактная информация:

Фридман Кирилл Борисович — доктор медицинских наук, профессор; kirill.fridman@yandex.ru
Мироненко Ольга Васильевна — доктор медицинских наук, профессор; miroolga@yandex.ru
Белкин Александр Сергеевич — кандидат медицинских наук; sangig75@mail.ru
Носков Сергей Николаевич — кандидат медицинских наук; sergeinoskov@mail.ru
Магомедов Хамзат Курбанович — ассистент; xamzat1985@mail.ru

Fridman Kirill B. — MD, Professor; kirill.fridman@yandex.ru
Mironenko Olga V. — MD, Professor; miroolga@yandex.ru
Belkin Alexander S. — PhD; sangig75@mail.ru
Noskov Sergey N. — PhD; sergeinoskov@mail.ru
Magomedov Khamzat K. — assistant; xamzat1985@mail.ru